1913

Aus dem Tierphysiologischen Institut der Landwirtschaftlichen Hochschule
zu Berlin. Direktor: Geheimrat Professor Dr. Zuntz.

STANFORD UNIVERSITY LIBRARY NOV 17 1913

Untersuchungen über den Einfluß von Salzen auf den respiratorischen Stoffwechsel.

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der vereinigten medizinischen Fakultät
der großherzoglich-hessischen Ludwigs-Universität
zu Gießen

vorgelegt von

Waldemar Mäder,
prakt. Tierarzt.

Berlin 1913.
Druck von Leonhard Simion Nf.

Gedruckt mit Genehmigung

der vereinigten medizinischen Fakultät zu Gießen.

Referent: Prof. Dr. Garten.

Meiner lieben Mutter

gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40154005_0301

Bei der normalen Ernährung des Menschen und der Wirbeltiere kommen namentlich die drei Nährstoffkategorien der Eiweißkörper, der Fette und der Kohlehydrate in Betracht. Neben ihnen spielen ja unter Umständen organische Säuren sowie, namentlich beim Menschen, der Alkohol eine gewisse Rolle. Im Hungerzustande sind es wiederum die erstgenannten beiden Nährstoffklassen, die Eiweißkörper und die Fette, die den Energiebedarf des Körpers bestreiten. Neben ihnen kommen die Kohlehydrate nur in beschränktem Maße und nur in den ersten Hungertagen in Betracht.

Im Falle übermäßiger Ernährung werden von den drei Nährstoffkategorien am leichtesten und in beinahe unbegrenzter Menge die Fette aufgespeichert. In sehr viel geringerem Maße die Kohlehydrate und die Eiweißkörper. Für Eiweißkörper konnte Voit durch zahlreiche Versuche nachweisen, daß der Organismus, solange überhaupt eine einigermaßen genügende Zufuhr stattfindet, stets einem Gleichgewichtszustande zustrebt, in welchem der Zerfall von Eiweiß mit der Zufuhr desselben annähernd gleichen Schritt hält. Hieraus folgt unmittelbar, daß von den mit der Nahrung zugeführten Nährstoffen zunächst die Eiweißkörper in derselben Menge, in der sie in der Nahrung enthalten sind, zum Zerfall kommen und sich entsprechend an der Bestreitung des Energiebedarfs des Körpers beteiligen. Der Rest dieses Bedarfs wird durch die stickstoffreien Nährstoffe bestritten, und zwar, wie Voit behauptete und wie die meisten Physiologen auch heute noch annehmen, in der Weise, daß zunächst die ganze mit der Nahrung zugeführte Kohlehydratmenge oxydiert wird und erst, wenn diese nicht ausreicht, so viel Fett der Nahrung oder des Körpervorrats, wie der Energiebedarf des Körpers erfordert. Diese Anschauung ist, wie zahlreiche im tierphysiologischen Institut der landwirtschaftlichen Hochschule zu Berlin ausgeführte Respirationsversuche gezeigt haben, nicht richtig, und sie konnte sich nur deshalb

solange behaupten, weil bei den meisten Respirationsversuchen nur die Kohlensäureausscheidung, dagegen nicht die Sauerstoffaufnahme bestimmt wurde und infolgedessen nicht zu erkennen war, in welchem Verhältnis die beiden Nährstoffkategorien zur Oxydation kommen.

Die hier in Frage kommenden Gesetzmäßigkeiten in den Verbrennungsprozessen sind ausführlicher in der Arbeit von O. Müller[1]) behandelt worden. Sie werden ferner illustriert durch die zahlreichen Versuche im amerikanischen Respirationskalorimeter, die von Benedikt und seinen Mitarbeitern unternommen wurden. — Aus allen diesen Versuchen geht hervor, daß der Organismus einen gewissen Vorrat an Kohlehydraten mit großer Zähigkeit festhält und ihn sogar bei vollkommen kohlehydratfreier Kost aus den zerfallenden Eiweißkörpern, vielleicht auch aus Fett, synthetisch herstellt. Die Voitsche Regel über die Reihenfolge des Zerfalls der Nahrungsstoffe gilt nach diesen Versuchen nur dann, wenn lange Zeit eine bestimmte Menge von Kohlehydraten in der Nahrung verfüttert war. Dann ist der Bedarf des Organismus an Kohlehydraten (Glykogen) gedeckt und die tägliche Zufuhr kommt zum Zerfall, genau so wie die tägliche Zufuhr von Eiweiß aufgebraucht wird, wenn kein Bedarf zur Vermehrung des Eiweißbestandes des Körpers besteht.

Wir können nach dem eben Gesagten die Reihenfolge, in der die Nährstoffe im Körper verbraucht werden, aus dem Bestreben des Organismus ableiten, sich stets einen gewissen mittleren Bestand an Eiweiß und Kohlehydraten zu erhalten, während der Bestand des Körpers an Fett in weiten Grenzen schwankt. So erklärt es sich, daß die Reihenfolge, in der die drei Nährstoffkategorien zur Bestreitung des Körperbedarfs herangezogen werden, nach den vorher entwickelten Gesichtspunkten wechselt.

Man kann sich nun die Frage vorlegen, ob die Heranziehung der Nährstoffe zur Bestreitung des Energiebedarfs nicht auch durch die physikalischen und chemischen Bedingungen, unter denen sich der Lebensprozeß vollzieht, beeinflußt wird.

Gewisse Beeinflussungen der Art kennen wir seit langem. Wir wissen, daß manche Giftstoffe den Eiweißzerfall vergrößern (toxischer Eiweißzerfall). Wir wissen ferner, daß Erhöhung der Körpertemperatur, mag sie bedingt sein durch Behinderung der Wärmeabgabe oder durch fieberhafte Prozesse, den Eiweißzerfall steigert. Bekannt ist auch, daß Sauerstoffmangel diesen Einfluß hat, und daß derselbe in noch höherem Grade zu einem Aufbrauch des

[1]) O. Müller. Dissertation. Über die Verdauungsarbeit nach Kohlehydratnahrung in ihrer Abhängigkeit von der physikalischen Beschaffenheit der Nahrung. (Biochemische Zeitschrift Bd. 28, S. 427.)

Kohlehydratvorrates im Körper Veranlassung gibt. Eine Erklärung hierfür hat Zuntz durch den Nachweis gegeben, daß bei Sauerstoffmangel der Gärung analoge Zerfallsprozesse der Kohlehydrate, ähnlich wie in den ohne Sauerstoff lebenden niederen Organismen zur Deckung des Energiebedarfs herangezogen werden [2]).

Im Anschluß an die vorher dargelegten Gesichtspunkte habe ich es übernommen, die Frage zu bearbeiten, ob nicht andere Variationen in der Beschaffenheit des Mediums, in welchem die tierischen Oxydationsprozesse sich vollziehen, das Maß beeinflussen können, in welchem die Kohlehydrate und Fette sich in die Bestreitung des Energiebedarfs teilen. — In den nachfolgenden Versuchen soll geprüft werden, ob einseitige Störungen im Mineralstoffgehalt des Körpers und der Nahrung dazu führen können, daß die normale Verteilung der Oxydationsprozesse zwischen Kohlehydraten und Fetten sich ändert.

Die Frage schien auch darum von großem Interesse, weil wir Krankheiten kennen, in welchen die Oxydation der Kohlehydrate derart herabgesetzt ist, daß sie in großer Menge ungenutzt durch den Harn ausgeschieden werden (Diabetes mellitus). Zur Heilung oder wenigstens zur Milderung dieser Stoffwechselanomalie hat man bekanntlich vielfach von mineralischen Quellen Gebrauch gemacht. Man hat also in ärztlichen Kreisen die Vorstellung gehabt, daß eine Änderung der Körpersäfte im Sinne einer andern Mischung ihres Salzgehaltes von Einfluß sein könnte auf die Oxydation besonders der Kohlehydrate. Die exakten Stoffwechselversuche an Diabetikern [3]) haben ja freilich bisher keine einwandfreien Beweise für die Wirksamkeit der Mineralwasserkuren in bezug auf die Zuckerausscheidung liefern können, trotzdem aber werden die Trinkkuren in Karlsbad, Neuenahr und andern Brunnenorten wieder und wieder Diabetikern verordnet.

Einige Beobachtungen scheinen für einen Einfluß der Mineralstoffe auf die Art der Oxydation zu sprechen. So fanden Bock und Hoffmann [4]), daß Einspritzung von 1 % Kochsalzlösung unter die Haut von Tieren Glykosämie und Glykosurie hervorruft. Spätere Autoren fanden, daß noch andern Natriumsalzen, ebenso wie LiCl, KCl und $SrCl_2$ diese Wirkung zukommt [5]). Die Aus-

---

[2]) Zuntz, Die Kraftleistungen des Tierkörpers. Festrede am 26. Januar 1908. Berlin, Parey.

[3]) Magnus-Levy, Zuckerbildung aus Eiweiß und R.-Q. im Diabetes. Physiolog. Ges. Berlin 1904, 1. März.
Magnus-Levy, Respirationsversuche an diabetischen Menschen. Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 56 S. 82 1905.

[4]) Bock und Hoffmann, Über eine neue Entstehungsweise von Melliturie. Du-Bois-Reymonds Archiv 1871.

[5]) Abderhalden, Lehrbuch der physiologischen Chemie S. 98.

scheidung erfolgte um so früher, je stärker die Konzentration war. Als Ort der Einwirkung wurde das verlängerte Mark festgestellt, da die Lösung nach Injektion in die Vertebralarterien schneller und stärker wirkte [6]). Die Salzlösung schien hier also auf das Zentrum zu wirken, dessen Verletzung durch den sogenannten Zuckerstich ein ähnliches Ergebnis hat. An Wahrscheinlichkeit gewinnt diese Anschauung durch die Beobachtung von Külz, daß Glykosurie bei Kochsalzinfusion nur dann auftritt, wenn die Nervi splanchnici intakt sind [7]). Nach ihrer Durchschneidung rief die Natriumchloridlösung keine Glykosurie hervor und bestehende wurde aufgehoben. Durch neuere Untersuchungen wurde dann noch festgestellt, daß durch Kochsalzlösung gleichzeitig auch die Körperzellen für Zucker durchlässig werden, so die Darmwand und auch die Nierenepithelien [8]). Hier wirkte das Natriumsalz ähnlich wie Phlorhizin. Die Glykosurie hörte sofort auf, wenn eine Lösung von Calciumchlorid injiziert wurde. Wird statt der reinen Natriumsalzlösung ein Gemisch von Natrium-, Kalium- und Calciumsalzen benutzt, in demselben Verhältnis wie im Blute und in der Ringerschen Lösung, so tritt keine Glykosurie ein, wird aber zu dem Salzgemisch noch Magnesium hinzugefügt, in ähnlicher Konzentration wie im Meerwasser, dann tritt wieder die angeführte pathologische Erscheinung auf [9]).

Zur Aufklärung der Stoffwechselstörung bei Diabetes mellitus reichen diese Tatsachen noch nicht aus; auch für die Therapie haben sie noch keinen direkten Wert, sondern es sind noch zahlreiche weitere Beobachtungen auf den verschiedensten Gebieten nötig, um hier Klarheit zu schaffen. — In dieser Beziehung ist eine Beobachtung von Gans wichtig, der feststellte, daß Natriumkarbonat in kleinen Mengen die diastatische Umwandlung des

---

[6]) Martin H. Fischer, Weitere Versuche über die Hervorrufung und Hemmung von Glukosurie bei Kaninchen durch Salze. Pflügers Archiv Bd. 106 S. 80 1904 u. Bd. 109 S. 1 1905.

M. H. Fischer, On the production and suppression of glycosuria in rabbits through electrolytes University of California Public. Physiolog. Vol. 1 pg. 77 1903 u. Vol. 1 pg. 87 1904.

[7]) Külz, Eckhards Beiträge Bd. 6 S. 177 1872.

[8]) Joh. Bruce Macallum, The secretion of sugar into the intestine by intravenous saline infusions. University of California Public. Vol. 1 pg. 125 1904.

Frank P. Underhill and Israel S. Kleiner. Further experiments on the mechanism of salt glycosuria. The journ. of Biol. Chemistry. Vol. 4 pg. 395 1908. Martin H. Fischer und Gertrud Moore. Über Glykosurie und die normale Ausscheidung von Kohlehydraten. American Journal of Physiol. Vol. 19 pg. 341 1907.

[9]) Burnett, On the Production of Glycosuria in Rabbits by the Intravenous Injection of Seawater made Isotonic with the Blood. Oppenheimers Handb. d. Biochemie II, 1. S. 139 u. 140.

Glykogens in Zucker verlangsamt[10]). Auch Schade machte ähnliche Beobachtungen über die katalytischen Wirkungen von Salzen bei der Zuckerverbrennung [11]).

Aus diesen Beobachtungen schlossen die Autoren, daß bei Diabetes Natriumsalze die Umwandlung des Leberglykogens in Zucker verlangsamen; infolge dieser Verlangsamung könnte der Organismus die aus dem Glykogen freiwerdenden Zuckermengen verbrennen, bevor wieder neue Zuckermengen gebildet werden, und so werde das Blut vor einer Überflutung mit Zucker bewahrt [12]). Während einige klinische Beobachtungen dafür zu sprechen scheinen, behaupten andere Kliniker, eine solche Einwirkung nicht feststellen zu können [13]).

Daß nun bestimmte und nicht geringe Verschiebungen in dem Aschebestand des Organismus durch Variation der Zufuhr von mineralischen Salzen eintreten müssen, kann man unter anderem aus den Beobachtungen von Bunge schließen. Er stellte fest, daß er seinem Körper durch Aufnahme von zitronensaurem Kali in ziemlicher Menge Natriumsalze entziehen konnte, die durch den Harn ausgeschieden wurden [14]). Er erklärt diese Erscheinung in der Weise, daß die Kalisalze mit dem Kochsalz des Blutes Umsetzungen eingehen, wobei zum Teil Verbindungen entstehen, die dem Organismus fremdartig sind und als solche ausgeschieden werden. Ähnlich gab von Noorden einem Mädchen drei Wochen lang täglich 5 g Cl_2Ca und 5 g KNO_3. Es blieben in dieser Zeit über 12 g Kali und über 20 g CaO im Körper zurück, während große Mengen Natrium abgegeben wurden [15]).

So besitzen wir in der Auswahl und in der Zusammensetzung der Alkalien sicherlich ein Mittel, um ganz gewaltige Verschiebungen des Alkalibestandes zu erzielen, so daß wir, wie von Noorden in bezug auf die Trinkkuren mit Mineralwässern sagt, es als möglich anerkennen müssen, daß der fortgesetzte Genuß eines bestimmten Mineralwassers den Mineralbestand des Körpers verschiebt und infolge dieser Verschiebung der Abbau und Aufbau bestimmter Atomkomplexe, z. B. des Zuckers und der Harnsäure

---

[10]) Gans, Über den Einfluß von Salzlösungen auf die Umbildungsgeschwindigkeit des Glykogens im Zucker. XIV. Kongreß f. inn. Med. 1896, S. 449.

[11]) Schade, Über die katalytische Beeinflussung der Zuckerverbrennung. Münchener med. Wochenschrift, 1905 1088, 1713.

[12]) Külz, Beiträge zur Pathologie und Therapie des Diabetes mellitus. 1. 31. 1874.

[13]) von Noorden, Handbuch der Pathologie des Stoffwechsels.

[14]) Bunge, Über die Bedeutung des Kochsalzes und das Verhalten der Kalisalze im menschlichen Organismus. Zeitschrift f. Biologie 9, 104, 1873.

[15]) s. [13]), Bd. 2 S. 556.

(katalytisch) erleichtert oder gehemmt werden kann [16]). Schon früher sprach man, gestützt auf die klinischen Beobachtungen, allerdings der exakten Forschung in der Theorie weit vorauseilend, von einer „Beschleunigung des Stoffwechsels", einer „Anregung der Oxydationsvorgänge" oder von der „umstimmenden Wirkung" der alkalischen Wässer bei Fettsucht, Diabetes und Gicht.

Über die Verteilung derartig im Körper und in den einzelnen Organen angehäufter Salze und über die Art ihrer Wirkung ist vorläufig nichts bekannt, obwohl z. B. bei Diabetes eingehende Blut- und Gewebsanalysen gemacht wurden, teils ohne, teils nach vorausgegangener Darreichung von Alkali [17]). Der Gehalt an fixen Alkalien war in beiden Fällen nicht wesentlich verschieden. Anderseits fand man, daß der prozentige Mineralgehalt und das Verhältnis der Basen zueinander im Blut und in den Geweben von an verschiedenen Krankheiten Verstorbenen stark wechselt; bald überwiegen die Natron-, bald die Kali- und bald die erdigen Verbindungen, ohne daß man eine Gesetzmäßigkeit für das verschiedene Verhalten finden könnte. Beziehungen des Befundes zur Nahrung wurden gar nicht entdeckt, die Beziehungen zu Krankheitsprozessen waren überall zweifelhaft und strittig. Bei der Beobachtung der Einfuhr und Ausfuhr konnten nicht so feste Beziehungen festgestellt werden wie bei Stickstoff und den mineralischen Säuren [18]). Die Einfuhr des einen Alkali kann hemmend oder beschleunigend wirken auf die Ausscheidung anderer Alkalien, wie schon oben an Beispielen erläutert [19]).

Durch mehrere Forscher wurde auch die Notwendigkeit der Salze für die Zelle und die Einwirkung der einzelnen Ionen auf deren Lebensvorgänge studiert, und zwar besonders bei sich entwickelnden Seeigeleiern, da ihre Entwicklung gut zu verfolgen ist, und man die Lösungsverhältnisse des umgebenden Wassers willkürlich ändern kann.

---

[16]) s. [13]), Bd. 2 S. 555.

[17]) Magnus-Levy, Untersuchung über Azidosis im Diabetes mellitus. Archiv f. exper. Path. u. Pharm. 45, 389 1901.

[18]) Rumpf und Dennstedt, Weitere Untersuchungen über die chemische Zusammensetzung des Blutes. Zeitschrift f. klin. Med. 58, 84 1905.

E. Abderhalden, Zur quantitativen vergleichenden Analyse des Blutes. Zeitschrift f. physiol. Chemie 25, 65 1898.

[19]) W. Beckmann, Untersuchungen über den Einfluß des kohlensauren und zitronensauren Natrons auf die Ausscheidung der Alkalien. In Stadelmanns „Einfluß der Alkalien auf den Stoffwechsel" 1890 S. 52. vgl. auch Zuntz, Physiologische Bedeutung des wechselnden Mineralgehalts der Futtermittel. Jahrbuch d. D. Landw. Ges. 1912, S. 570.

Jacques Loeb[20]) stellte fest, daß, beim Fehlen eines der drei Ionen Na, K oder Ca, die Entwicklung der Eier fast gar nicht über die ersten Furchungsstadien hinausgeht. Einzelne Ionen allein oder im großen Übermaß wirkten sogar stark giftig. z. B. lebten frische befruchtete Eier wochenlang in doppelt destilliertem Wasser, während sie sich in reiner Kochsalzlösung vom osmotischen Druck des Meerwassers nicht entwickelten. Fügte er aber der $n/_2$ oder $^5/_8$ n Kochsalzlösung etwas $CaCl_2$ zu, so konnten alle Eier Embryonen bilden. Am besten entwickelten sich die Tiere dann, wenn außer $CaCl_2$ noch etwas Kalium zugefügt wurde. Als günstigstes Verhältnis für die Mischung der drei Ionen zeigte sich das im Meerwasser und ebenso im Blute herrschende; hier kommen auf 100 Moleküle NaCl ungefähr 2 Moleküle KCl und etwa 1 bis 2 Moleküle $CaCl_2$.

Dieselbe Zusammensetzung hat auch die experimentell gefundene Locke-Ringersche Lösung zur Durchspülung von Muskeln, deren Lebenseigenschaften möglichst lange erhalten werden sollen. — Ähnliche Untersuchungen machte K. Herbst[21]). Er beobachtete gleichfalls die Entwicklung von Seestern- und Seeigeleiern in verschiedenen Lösungen und stellte fest, daß die günstigste Lösung Natrium, Kalium und Calcium in Verbindung mit Chlor, Schwefelsäure und Kohlensäure und einen geringen Überschuß der OH-Ionen über die H-Ionen aufweisen muß. Einzelne Bestandteile sind nur für bestimmte Stadien wichtig, für andere sind sie nicht so notwendig. Die Einzelheiten aus der Arbeit gehören wohl nicht hierher.

Von einer direkten Beeinflussung der Oxydationsvorgänge durch Veränderung des Salzgehalts bei niederen Organismen berichtet Warburg[22]). Er benutzte bei seinen Versuchen Eier von Seeigeln, bei denen er die Oxydationsvorgänge an dem Sauerstoffverbrauch und die Wachstumsvorgänge an der Kern- und Zellteilung beobachtete. Er fand nun, daß durch die Befruchtung die Oxydationsvorgänge in den Eiern auf das sechs- bis siebenfache stiegen. Nun beobachtete er diese Vorgänge bei Zusatz von Kochsalz und NaOH, und zwar in verschiedener Stärke. Einmal setzte er zu 100 ccm Seewasser 2,3 g NaCl und 1,6 ccm $n/_{10}$ NaOH. Das andere Mal 4,3 g NaCl und 3 ccm $n/_{10}$ NaOH. Hierbei fand er nun bei unbefruchteten wie bei befruchteten Eiern eine starke Steigerung der Oxydationsvorgänge. Er gibt die Verstärkung in hypertonischen Lösungen bei unbefruchteten auf das 4—5 fache,

---

[20]) Jacques Loeb, Physiologische Ionenwirkungen, Oppenheimers Handbuch der Biochemie. II 1 S. 104.

[21]) K. Herbst, Archiv f. Entwicklungsmechanik der Organismen Bd. 17.

[22]) Warburg, Zeitschrift f. physiolog. Chemie Bd. 51 1.

bei befruchteten Eiern auf das 20 fache, beides gegenüber dem Verbrauch der Unbefruchteten in Seewasser an.

Aus allen diesen Gesichtspunkten erschien es als eine lohnende Aufgabe, zu untersuchen, ob und in welchem Umfange etwa beim Säugetier die Größe der Oxydation und die Verteilung derselben zwischen Kohlehydraten und Fetten durch Variation der Salzmischung des Blutes beeinflußt werden könnte.

Wie bekannt, ermittelt man den Anteil der Kohlehydrate und Fette am Verbrennungsprozeß im Tier aus dem respiratorischen Quotienten.

Aus der elementaren Zusammensetzung der Nährstoffe ergibt sich, daß dieser Quotient bei vollständiger Verbrennung von Fett allein dem Wert 0,70 nahe kommen muß, dagegen bei ausschließlicher Verbrennung von Kohlehydraten 1,0 betragen soll. Je mehr er sich nun der letzteren Zahl nähert, desto mehr Kohlehydrate, je näher er der ersteren rückt, desto mehr Fette werden im Körper verbrannt. Nach einer Formel, die Zuntz und Hagemann zuerst abgeleitet haben und welche seitdem vielfach benutzt worden ist [23]), kann man aus der Kenntnis des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlensäureausscheidung, welche übrig bleiben, nachdem man den Anteil des Eiweißes rechnerisch abgezogen hat, die relative Menge der beiden stickstoffreien Nährstoffkategorien, welche oxydiert worden sind, berechnen.

Die nach den angedeuteten Gesichtspunkten angeordneten Versuche wurden von mir in Gemeinschaft mit Herrn cand. chem. R. Bing ausgeführt. Dieser wird die Ergebnisse noch nach anderer Richtung verfolgen. Meine Aufgabe ist es, die Respirationsversuche bei wechselnder Salzzufuhr und die sich aus denselben ergebenden Folgerungen hier darzulegen.

Zu unseren Versuchen diente ein schon früher im Institut benutzter tracheotomierter männlicher Hund von etwa 18 kg Gewicht, der sich nach kurzer Dressur insofern als sehr geeignet erwies, als er sowohl die verschiedenen Nährgemische anstandslos verzehrte, als auch in den Respirationsversuchen tadellos ruhig lag. Nur selten kam es vor, daß seine Atemmechanik, anscheinend durch psychische Vorgänge beeinflußt, von der Norm abwich, daß er erheblich größere Luftmengen als die bei ihm normale Atemgröße von rund 2 Litern pro Minute atmete. Derartige Versuche wurden nicht weiter verwertet.

Der Versuchsplan war nun derart, daß das Tier gleichmäßig mit einer sehr salzarmen Kost, in welcher mittlere Mengen von Eiweißkörpern, Fett und Kohlehydraten enthalten waren, gefüttert

[23]) Zuntz und Schumburg, Physiologie des Marsches S. 361.

wurde, und daß dieser salzarmen Kost in den einzelnen Versuchen bestimmte Salze in entsprechender Menge zugesetzt wurden. Die messenden Respirationsversuche fanden im allgemeinen erst nach beendeter Verdauung statt, um zu sehen, wie sich in diesem Zustand relativer Nüchternheit bei fehlender direkter Zufuhr vom Darm aus und bei stets gleicher Verteilung der resorbierten Stoffe im Körper die Oxydationsprozesse unter dem Einfluß verschiedener Salze gestalten, und wie sich die beiden Nährstoffkategorien am Umsatz beteiligen. Es wurde außerdem in vielen Fällen, anfangs bei unserem Hunde, später, um Störungen durch die Abgrenzungsprozeduren zu vermeiden, bei einer katheterisierbaren Hündin Untersuchungen über den Eiweißzerfall bei der wechselnden Salzzufuhr ausgeführt. Über diese wird anderwärts berichtet werden.

Die Nahrung unseres Hundes bestand in 300 g magerem Pferdefleisch, 100 g Reis und 15 g Fett. Die beiden ersten Nahrungsmittel wurden 24 Stunden vor der Fütterung gut zerkleinert in 3 Litern destillierten Wassers verteilt und in diesem im Verlaufe der 24 Stunden häufiger umgeschüttelt. Dann wurde das Wasser von diesem Nährgemisch abgepreßt und die Masse mit $^3/_4$ Litern destillierten Wassers unter Zugabe von anfangs 30, später 15 g Fett gekocht. Der Hund verzehrte die salzarme Kost willig. Die von Herrn cand. chem. R. B i n g ausgeführte quantitative Bestimmung des Aschegehaltes einer Probe, die in derselben Weise zubereitet wurde, ergab ein Vorhandensein von nur geringen Mengen Asche, und zwar betrug die Menge auf die Tagesportion berechnet 0,05 g K und Na, bei einem gesamten Aschegehalt von 0,38 g. Da der Salzgehalt von 300 g Pferdefleisch ungefähr 3 g beträgt, war die erzielte Aschearmut relativ groß. — Unter den 0,4 g Salzen sind selbstverständlich die Aschebestandteile enthalten, die organisch gebunden sind, wie Phosphor und Schwefel und deshalb durch Dialyse nicht beseitigt werden können. Das Hämoglobin ging zum größten Teil in das destillierte Wasser über.

Da von kleinen Mengen eines Nahrungsbestandteiles im Darm verhältnismäßig weniger resorbiert wird als von größeren, allerdings noch nicht übermäßigen Mengen, so ist es wahrscheinlich, daß an den einzelnen Salzen, soweit solche der Nahrung nicht zugefügt wurden, ein Mangel eintreten mußte. Wie weit demgegenüber der Körper seinen festen Bestand behauptet hat, läßt sich nicht mit Bestimmtheit sagen, da die Frage nur durch vollständige Bilanzversuche hätte beantwortet werden können.

Bei der Nahrung nahm der Hund, solange die Fettmenge 30 g betrug, nicht unerheblich an Gewicht zu. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Gewichtsschwankungen.

November	8.	18,50 kg	Januar	14.	19,00	kg
-	9.	18,40 -	-	16.	19,00	-
-	10.	17,80 -	-	21.	18,80	-
-	11.	18,03 -	-	22.	19,05	-
-	14.	17,10 -	-	23.	19,15	-
-	18.	17,80 -	-	25.	19,40	-
-	21.	18,20 -	-	30.	19,18	-
-	25.	18,25 -	Februar	1.	19,10	-
-	29.	18,40 -	-	24.	19,40	-
Dezember	6.	18,00 -	-	25.	19,65	-
-	9.	18,35 -	-	27.	19,25	-
-	14.	18,10 -	-	28.	19,60	-
-	16.	18,13 -	März	3.	19,50	-
-	20.	18,10 -	-	7.	19,55	-
-	23.	18,15 -	-	9.	19,50	-
Januar	3.	18,60 -	-	10.	19,60	-
-	4.	18,70 -	-	22.	19,95	-
-	5.	18,80 -	-	23.	19,80	-
-	9.	18,95 -	-	27.	19,95	-
-	11.	18,90 -	-	28.	20,05	-
-	13.	19,00 -				

Vom 1. Februar an wurde die Fettmenge auf 15 g herabgesetzt; auch jetzt noch geringe Zunahme des Gewichts. Anfangs wurde das Tier, um den Harn quantitativ aufzufangen, in einem Stoffwechselkäfig gehalten, später wurde es, um ihm etwas mehr Bewegung zu gestatten, für sich allein in ein kleines leeres Zimmer von etwa 16 qm Bodenfläche gebracht.

Zu dem geschilderten salzarmen Futter, das der Hund ohne Unterbrechung vom 1. Oktober 1910 bis 1. April 1911 erhielt, wurden nun in den einzelnen Versuchsperioden die auf ihre Wirkung zu untersuchenden Salze hinzugefügt. Das Nähere ergibt sich aus folgender Tabelle:

vom	15. Okt.	bis	14. Nov.	salzfrei
-	15. Nov.	-	2. Dez.	3 g NaCl
-	3. Dez.	-	12. Dez.	3 g Fleischasche
-	13. Dez.	-	23. Dez.	4 g KCl
-	24. Dez.	-	6. Jan.	3 g Fleischasche
-	7. Jan.	-	10. Jan.	salzfrei
-	11. Jan.	-	16. Jan.	3 g $CaCl_2$
-	17. Jan.	-	20. Jan.	salzfrei
-	21. Jan.	-	29. Jan.	4 g $MgCl_2$
-	30. Jan.	-	24. Febr.	salzfrei
-	25. Febr.	-	28. Febr.	4 g KCl

vom	1. März	bis 4. März	3 g	Fleischasche
-	5. März	- 12. März	4 g	$CaCl_2$
-	13. März	- 19. März		salzfrei
-	20. März	- 23. März	4 g	$MgCl_2$
-	24. März	- 1. April	4 g	$CaCl_2$.

Dazu ist zu bemerken, daß Wiederholungen einer Salzperiode nötig wurden, weil, wie sich nachträglich herausstellte, die Versuche keine genügende Übereinstimmung zeigten. — Im Gegensatz zu der einseitigen Verabreichung einzelner Mineralstoffe wurde in mehreren Perioden Fleischasche gefüttert. Als solche diente ein Salzgemisch, das im hiesigen Laboratorium bei Stoffwechselversuchen häufig verwandt wird. Es besteht aus 45 % H_2KPO_4, 10 % NaCl, 23 % $CaCO_2$, 2 % Fe_2O_3, 20 % $MgHPO_2$.

Eine Beschreibung der Technik darf ich mir wohl erlassen, da dieselbe häufig genug beschrieben worden ist, z. B. von Magnus-Levy, Heineman und O. Müller[24]).

Die einzelnen Versuche dauerten anfangs etwa 20 Minuten mit einer 5—10 Minuten langen Vorperiode. Später wurden die Versuchszeiten etwas verkürzt, weil der Hund gegen Schluß der Periode oft unruhig wurde. Nach jedem Versuche wurde der Hund in der ersten Versuchszeit bis Mitte Dezember in seinen im Respirationsraume aufgestellten Käfig zurückgebracht und hier so lange belassen, bis nach vollendeter Analyse der nächste Versuch stattfinden konnte. Später verbrachte das Tier die Pausen zwischen den einzelnen Versuchen in seinem Zimmer, wo es sich frei bewegen konnte. Das hatte den Vorteil, daß das Tier immer wieder bei neuen Respirationsversuchen wenigstens 20 Minuten lang absolut ruhig lag. Trotzdem wir unter diesen Umständen, abgesehen von seltenen Störungen durch Fliegen, nie Bewegungen des Tieres beobachtet haben, schwankte der Sauerstoffverbrauch, wie aus den Versuchsprotokollen hervorgeht, innerhalb gewisser mäßiger Grenzen, die sich aber in den Mittelwerten der Versuchsreihen genügend ausgleichen.

In meinen Versuchen ist der respiratorische Quotient von besonderer Bedeutung. Dieser wird bekanntlich durch die Atemmechanik in erheblichem Maße beeinflußt, indem bei Zunahme der Atemgröße zunächst eine entsprechende Abnahme der Kohlen-

---

[24]) Magnus-Levy, Größe des respiratorischen Gaswechsels. Pflügers Archiv 55, 1 1893.

Newton-Heineman, Experimentelle Versuche an Menschen über den Einfluß der Muskelarbeit auf den Stoffverbrauch und die Bedeutung der einzelnen Nährstoffe als Quelle der Muskelarbeit. Archiv f. d. gesamte Physiologie Bd. 83.

O. Müller, s. [1]).

säuretension in der Luft der Lungenalveolen stattfindet, die dann ihrerseits zu einer vermehrten Abgabe von Kohlensäure aus dem Blute und den Geweben des Körpers führt. In einer solchen Periode verstärkter Lungenventilation entspricht der respiratorische Quotient nicht den augenblicklich stattfindenden Oxydationsprozessen, sondern er ist wesentlich höher. Umgekehrt sinkt er unter den zu erwartenden Wert, wenn nach einer vorangegangenen Periode verstärkter Atmung die Ventilation wieder normal oder gar subnormal wird. Wie erheblich dieser Einfluß der Atemmechanik auf die Kohlensäureausscheidung ist, geht in besonders evidenter Weise aus im hiesigen Laboratorium ausgeführten Versuchen von Bornstein und von Gartzen[25]) hervor. In diesen Versuchen wurde willkürlich die Atmungsgröße von durchschnittlich 5–6 Litern in der Minute auf 30 Liter gesteigert, und es wurden in aufeinander folgenden kurzen Perioden proportionale Gasproben zur Bestimmung der Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausscheidung entnommen. Dabei wurde gefunden, daß die Steigerung der Sauerstoffaufnahme, die durch die Veränderung der Gastension in der Alveolenluft bedingt wird, schon nach 3 Minuten beendet war, so daß der Verbrauch weiterhin konstant blieb. Im Gegensatz hierzu hielt die vermehrte Kohlensäureausscheidung 50 Minuten an, und zwar wurde in den ersten beiden Perioden von je drei Minuten Dauer sogar mehr Kohlensäure ausgeschieden als Sauerstoff aufgenommen, so daß der Quotient größer als 1 wurde, nämlich 1,271 und 1,34; erst nach 50 Minuten entsprach er wieder den Verbrennungsprozessen, indem er dem vorher bei normaler Atemmechanik gefundenen Werte gleich wurde. Als nun die willkürliche Atmungssteigerung abgebrochen wurde, betrug während der ersten 24 Minuten der Quotient nur 0,472.

Um nun zu erfahren, in welchem Umfange dieses Moment auch bei meinen Versuchen am Hunde den Gaswechsel beeinflußt, suchte ich ähnliche Bedingungen zu schaffen. Selbstverständlich ist eine willkürliche Steigerung der Lungenventilation im Tierversuch ausgeschlossen, doch konnte ich sie erzielen, indem ich den Hund zu minutenlangem Lauf veranlaßte, dann wurde er an den Respirationsapparat angeschlossen, wo er bis gegen Ende des Versuches ruhig liegen blieb. Nun wurden kurz hintereinander 5 Versuche angestellt. Vielleicht ist es angebracht, das Ergebnis in Form einer Tabelle anzuführen, da es einmal zur Beurteilung meiner Resultate nötig ist und möglicherweise auch für andere Respirationsversuche am Tier erwünschte Fingerzeige bietet.

---

[25]) Bornstein und von Gartzen, Pflügers Archiv 1905 Bd. 109 S. 628.

Wie aus nebenstehender Tabelle deutlich hervorgeht, verursachte die stärkere Ventilation, die durch die Bewegung angeregt wurde, eine vermehrte Kohlensäureabgabe aus dem Blute und den Geweben, da die Steigerung der Ventilation noch anhielt nach Aufhören der Bewegung und der durch diese bedingten Stoffwechselsteigerung. Dann nach der Beruhigung, die nach dem Protokoll ungefähr in der zweiten Hälfte des zweiten Versuchs eintrat, setzte die verminderte Kohlensäureabgabe ein, die besonders stark am respiratorischen Quotienten des dritten Versuchs hervortritt. Dann kehrte er wieder auf die frühere Höhe zurück, um annähernd gleich zu bleiben[26]). Um nun beurteilen zu können, wie weit meine Resultate durch solche Änderung der Atemmechanik beeinflußt sein könnten, gebe ich in der Tabelle neben der unreduzierten Atemgröße des eigentlichen Versuchs noch die der vorangegangenen Minuten. Wenn diese beiden Werte, wie es in der Mehrzahl der Versuche der Fall ist, übereinstimmen, wird man annehmen können, daß der respiratorische Quotient den wirklichen Verbrennungsprozessen im ruhenden Tierkörper, unverfälscht durch Veränderung des Kohlensäurebestandes im Blute, entspricht. Zu den weiteren Rubriken der Tabelle ist noch zu bemerken, daß bei

Versuche am 4. April 1911.

Nr.	Dauer des Vers. Min.	Atem-fre-quenz	Atem-größe red.	Analyse der Exspirationsluft prod. CO_2	N_2	O_2	O_2 Def.	Gaswechsel pro Minute des Tieres CO_2	O_2	pro kg CO_2	O_2	R.-Q.
1	5	22—24	3,074	3,05	79,66	17,26	3,81	93,61	117,12	4,634	5,798	0,78
2	9	14—18	2,317	3,09	79,94	16,94	4,22	71,48	97,78	3,539	4,840	0,73
3	11	12—14	2,002	2,98	80,11	16,88	4,33	59,57	86,70	2,949	4,292	0,69
4	9	19—20	2,513	3,01	79,62	17,34	3,73	75,52	93,69	3,739	4,638	0,81
5	8	14	2,501	2,84	79,69	17,44	3,66	70,92	91,55	3,512	4,532	0,78

[26]) vgl. die eingehende Behandlung dieser Fragen in der vor einigen Jahren im tierphysiol. Institut ausgeführten Arbeit von Porges und Pribram, Biochem. Zeitschrift III, 453, 1907.

der Zusammensetzung der exspirierten Luft von der gefundenen Kohlensäure stets eine Menge von 0,03 % als wahrscheinlicher Gehalt der aus dem Freien bezogenen Inspirationsluft abgezogen ist. Dies ist durch die Überschrift „produzierte Kohlensäure" kenntlich gemacht. Das Sauerstoffdefizit ist in der von Magnus-Levy und Heineman ausführlich dargelegten Weise in der Art berechnet worden, daß die in normaler atmosphärischer Luft dem exspirierten Stickstoff entsprechende Sauerstoffmenge berechnet und von dieser der gefundene Sauerstoffgehalt der Exspirationsluft in Abzug gebracht wurde[27]). (Siehe die Tabelle auf S. 20–25.)

Bei Durchsicht nachstehender Versuchsergebnisse wird es demjenigen, der vielfach Respirationsversuche studiert hat, auffallen, daß sich ziemlich häufig respiratorische Quotienten finden, welche wesentlich unter dem niedrigsten bei normaler Verbrennung zu erwartenden Wert von 0,70 liegen. In einigen Fällen kann man diese abnorm niedrigen Quotienten mit hoher Wahrscheinlichkeit nach den vorher entwickelten Gesichtspunkten aus der Atemmechanik erklären, so den Quotienten 0,67 im Versuch 18, wo in der Vorperiode 2,66, in der eigentlichen Versuchsperiode 2,16 Liter geatmet wurden. Diese Erklärung scheint dagegen nicht zuzutreffen für den Quotienten 0,65 in Versuch 24, denn die Atemgröße in der Vorperiode 2,47 Liter ist so ziemlich gleich der Atemgröße während des Versuchs, die 2,48 Liter betrug, doch ergibt sich aus dem Versuchsprotokoll, daß sich während des Versuches die Atmung beruhigt, indem die Frequenz von 16 allmählich gegen Ende auf 11 sank. In Versuch 25, der ebenfalls den Quotienten von 0,65 aufweist, stimmen die Atemgrößen ziemlich überein, denn in der Vorperiode wurden 2,94, in der Versuchsperiode 2,80 Liter geatmet, dagegen stieg die Atemfrequenz von 13 auf 19 Atemzüge, während umgekehrt die Atemgröße geringer wurde. Ebenso dürfte sich dies Moment wieder in dem Versuch 35 geltend gemacht haben, denn in der Vorperiode wurden durchschnittlich 3,21, in der eigentlichen Periode nur 2,79 Liter geatmet. Im Versuch 36 scheint unsere Erklärung aber nicht zuzutreffen, denn die Atemgröße 2,10 im Vorversuch und 2,09 in der eigentlichen Periode stimmen durchaus wünschenswert überein. Doch genügt hier, wie in einigen andern Fällen, die Betrachtung der Mittelwerte der Vorperiode und des eigentlichen Versuchs, wie sie in vorstehender Tabelle angeführt sind, nicht vollständig, um den Einfluß der Atemmechanik auf den Gasgehalt des Blutes in seiner ganzen Größe abzuschätzen, vielmehr muß hier auf die Einzelheiten des Protokolls zurückgegriffen werden. Hier z. B. atmete das Tier in den ersten Minuten der Vorperiode 2,47 Liter. Diese vermehrte Ventilation

[27]) Magnus-Levy und Heineman siehe Nr. [24]).

muß eine vermehrte Abgabe von Kohlensäure bedingt haben, so daß bei Nachlassen dieser Steigerung bis zur normalen Atemgröße von rund 2,1 Litern zuerst eine entsprechende Verminderung der Kohlensäureausscheidung eintrat, wodurch der Quotient nicht dem wirklichen Umfang der Oxydationsvorgänge entsprach. In Versuch 39 kann dagegen wieder nicht der ganz abnorm niedrige und unwahrscheinliche Wert von 0,60 für den respiratorischen Quotienten auf die Ursache zurückgeführt werden, wohl aber im folgenden Versuch 40, in dem bei einer durchschnittlichen Atemgröße von 2,32 Litern während des Versuchs, vor Beginn 2,72 und in der ersten Minute sogar 2,96 Liter geatmet wurden. Dasselbe trifft zu für den Quotienten in Versuch 42, in dem die Ventilation in der eigentlichen Periode 2,12, in der Vorperiode 2,58 und in der ersten Minute 3,17 betrug. In Versuch 45 stieg die Atemfrequenz bei ungefähr gleichbleibender Atemgröße von anfangs 7 Atemzügen in der Minute auf 14, so daß anfangs bei einem Atemzug 0,3 Liter, später nur 0,15 Liter geatmet wurde; da nun das Volumen der oberen Luftwege, das als schädlicher Raum wirkt, gleich bleibt, so mußte gegen das Ende des Versuchs der Austausch herabgesetzt werden und eine Kohlensäurestauung im Blute zustande kommen. In Versuch 46 wurden in einigen Minuten vor Beginn der Probenahme 3,15 Liter geatmet, im Versuch durchschnittlich nur 2,67, woraus sich der ungewöhnliche Quotient zu erklären scheint. Der niedrige Wert in 47 muß nach Porges und Pribram[26]) in der Weise erklärt werden, daß durch das Hacheln (39 Atemzüge) eine Verminderung in der Ventilation der Lungenalveolen trotz bedeutender Atemgröße eintrat, ähnlich wie in Versuch 45, wodurch die Kohlensäureabgabe aus dem Blute herabgesetzt wurde. In 48 ist nach dem Protokoll die Ventilation in der ersten Hälfte des eigentlichen Versuchs verstärkt, um sich dann etwas zu beruhigen, so daß darauf der niedrige Wert des Quotienten zurückgeführt werden könnte. Dies gilt nicht für die Versuche 50 und 51, wohl aber in 52. In dem letzteren ist die Atemgröße in der Vorperiode 2,87 Liter, also bedeutend größer als im eigentlichen Versuche, mit 2,18 durchschnittlicher Ventilation. Wenn wir auch die folgenden abnorm niedrigen Werte des respiratorischen Quotienten betrachten, so trifft auch hier in der Mehrzahl unsere Annahme zu. So in den Versuchen 71, 74, 75, 80, 83, 87, 88, 89, 94, während einige wenige aus den Angaben in der Tabelle und aus dem Protokolle nicht erkennen lassen, ob dieser Umstand eine Rolle spielte. Solche Versuche sind 79, 81 und 84.

Analog zu diesen abnorm niedrigen Werten, kann man die auffallend hohen in den Versuchen 92 und 155 wohl darauf zurückführen, daß hier umgekehrt wie in den vorigen die Ventilation gegen das Ende des Versuches durch Unruhe gesteigert und dadurch

Nr.	Tag des Versuchs	Zeit nach Fütterung Stunden	Gewicht kg	Atemfrequenz	Atemgröße Liter vor Beginn unred.	Atemgröße Liter während des Versuchs unred.	Atemgröße Liter während des Versuchs red. auf 760 mm 0° C	Zusammensetzung der ausgeatmeten Luft in % prod. CO_2	Zusammensetzung der ausgeatmeten Luft in % N_2	Zusammensetzung der ausgeatmeten Luft in % O_2	O_2 Def.	Gaswechsel pro Minute ccm des ganzen Tieres CO_2	Gaswechsel pro Minute ccm des ganzen Tieres O_2	Gaswechsel pro Minute ccm pro kg CO_2	Gaswechsel pro Minute ccm pro kg O_2	R.-Q.
					Seit 15. X. Fütterung von 300 g Fleisch, 100 g Reis, 30 g Fett ohne Salze											
1	8. XI. 1910	22	18,5	7—10	2,582	2,125	1,90	3,06	80,08	16,83	4,37	58,19	83,11	3,15	4,48	0,70
2	-	23	18,5	12—14	2,51	2,504	2,24	3,11	80,00	16,86	4,32	69,58	96,90	3,77	5,24	0,72
3	9. XI.	22	18 4	11—13	2,53	2,386	2,13	3,02	80,06	16,89	4,20	64,38	89,57	3,50	4,87	0,72
4	10. XI.	23	17,8	10	2,06	2,27	2,03	3,00	80,11	16,86	4,34	60,90	88,20	3,43	4,97	0,69
5	11. XI.	22½	18,31	8 11	2,026	1,911	1,71	3,40	80,29	16,28	4,97	58,01	84,80	3,17	4,63	0,68
6	-	23	18,31	5— 9	2,06	1,977	1,77	3,39	79,81	16,77	4,36	59,97	77,09	2,85	4,21	0,77
7	14. XI.	16¼	17,70	9—11	2,118	1,951	1,74	3,08	80,17	16,72	4,50	53,68	78,42	3,03	4,43	0,68
					Seit 15. XI. Fütterung von 300 g Fleisch, 100 g Reis, 30 g Fett und 3 g NaCl											
8	18. XI. 1910	12¾	18,6	8 10	2,16	2,703	2,44	3,20	79,80	16,97	4,15	78,05	101,22	4,20	6,248	0,77
9	-	14	18,6	11 13	2,51	2,368	2,12	3,18	79,77	17,02	4,08	67,41	86,49	3,62	4,65	0,78
10	-	15	18,6	9 11	2,00	2,196	1,96	3,35	79,76	16,86	4,25	64,63	81,91	3,47	4,40	0,79
11	-	17½	17,85	8 11	2,516	2,007	1,79	3,85	80,04	16,48	4,70	61,93	84,36	3,47	4,73	0,73
12	-	18¾	17,80	9—11	2,516	1,965	1,77	3,64	80,07	16,26	4,93	64,55	87,43	3,63	4,91	0,74
13	21. XI.	13	18,20	13—15	3,135	2,81	2,52	3,04	79,58	17,35	3,71	76,60	93,48	4,21	5,14	0,82
14	-	14¼	18,20	14—18	2,15	2,55	2,28	3,14	79,68	17,15	3,94	71,65	89,91	3,94	4,94	0,80
15	-	16¼	18,20	10	2,25	2,157	1,93	3,39	79,95	16,63	4,53	65,34	87,37	3,59	4,80	0,75
16	-	17¾	18,20	10 11	2,23	1,92	1,84	3,63	80,00	16,34	4,83	62,39	83,12	3,43	4,57	0,75
17	-	19¾	18,20	8— 9	2,06	1,88	1,68	3,63	80,07	16,27	4,92	61,10	82,81	3,36	4,55	0,74
18	25. XI.	17	18,25	7—12	2,66	2,16	1,93	3,19	80,28	16,50	4,74	61,53	91,40	3,37	5,01	[0,67]
19	-	18	18,25	8—11	2,39	2,24	1,96	3,45	80,01	16,51	4,67	68,95	93,31	3,78	5,11	0,74
20	29. XI.	3	19,4	14 18	2,91	2,957	2,64	3,25	80,17	16,55	4,67	85,81	123,31	4,42	6,36	0,70
21	-	4	19,4	13— 14	3,00	3,035	2,71	3,01	80,08	16,88	4,32	81,71	117,27	4,21	6,04	0,70
22	-	5	19,4	13— 14	2,77	3,16	2,83	3,15	80,11	16,71	4,49	88,45	127,24	4,59	6,55	0,70
23	-	7¾	18,85	12—18	3,20	3,45	3,08	2,91	79,85	17,21	3,93	89,30	120,98	4,71	6,38	0,74
24	-	10½	18,40	11 14	2,47	2,48	2,21	3,00	80,32	16,65	4,61	66,35	101,96	3,61	5,54	[0,65]
25	6. XII.	13¼	18,10	16 17	2,94	2,80	2,50	2,46	80,06	17,43	3,77	61,45	94,18	3,39	5,21	[0,65]
26	-	14	18,05	11— 14	2,11	2,43	2,17	2,99	80,05	16,93	4,26	64,96	92,56	3,59	5,11	0,70
27	-	21¾	18,00	19—20	2,64	2,71	2,42	2,64	79,96	17,35	3,82	63,86	92,40	3,54	5,12	0,69

Seit 3. XII. Fütterung von 300 g Fleisch, 100 g Reis, 30 g Fett, 3 g Fleischasche

28	9. XII. 1910	12	18,35	19—22	3,49	2,91	2,58	2,49	79,94	17,54	3,62	64,27	93,43	3,50	5,09	0,69
29	-	13½	18,35	30—34	4,23	3,678	3,265	2,01	79,80	18,16	2,96	64,14	96,64	3,49	5,27	0,68
30	-	15	18,25	10—16	2,26	2,10	1,87	2,89	80,57	16,51	4,81	54,48	89,75	3,98	4,92	[0,60]
31	-	17	18,25	10—16	2,36	2,32	2,06	3,01	80,17	16,79	4,43	62,13	91,44	3,40	5,01	0,68
32	-	19	18,25	9	2,30	2,74	2,38	3,03	80,94	17,00	4,45	72,05	105,82	3,95	5,80	0,68
33	-	21	18,20	8—12	2,75	2,25	1,96	3,01	80,18	16,78	4,44	58,90	86,88	3,23	4,76	0,68

Seit 13. XII. Fütterung von 300 g Fleisch, 100 g Reis, 30 g Fett und 4 g KCl

34	14. XII. 1910	13	18,15	13—21	3,30	2,91	2,58	2,58	79,69	17,70	3,39	66,61	87,52	3,67	4,82	0,76
35	-	14	18,15	7—11	3,21	2,79	2,47	2,51	80,02	17,44	3,75	63,84	92,78	3,52	5,11	[0,67]
36	-	18	18,10	6—12	2,10	2,09	1,86	3,18	80,32	16,47	4,79	59,09	89,01	3,26	4,92	[0,66]
37	-	20	18,00	8—10	2,12	2,13	1,89	3,30	80,28	16,39	4,86	72,24	92,03	4,01	5,11	0,68
38	16. XII.	12	18,2	11—19	3,99	3,25	2,88	2,51	79,97	17,49	3,68	72,35	106,07	3,97	5,83	0,68
39	-	13	18.2	15—16	2,43	2,29	2,03	2,68	80,47	16,82	4,48	54,41	90,95	2,99	5,00	[0,60]
40	-	14	18,2	7—13	2,72	2,32	2,06	2,73	80,52	16,72	4,59	56,25	94,58	3,09	5,20	[0,60]
41	-	16	18,13	12—16	2,18	2,35	2,08	2,88	80,13	16,96	4,25	60,06	88,63	3,31	4,88	0,68
42	-	18	18,13	10—12	2,58	2,12	1,88	2,75	80,42	16,80	4,49	51,85	84,66	2,86	4,66	[0,61]
43	20. XII.	12	18,70	10—11	2,43	2,276	2,02	3,44	80,07	16,46	4,73	69,50	95,56	3,72	5,11	0,73
44	-	13	18,60	7—14	3,19	2,47	2,20	2,94	80,11	16,92	4,28	64,63	94,08	3,48	5,06	0,69
45	-	18	18,10	7—14	2,42	2,24	1,99	2,95	80,31	16,71	4,55	58,62	90,42	3,24	4,99	[0,65]
46	-	19	18,10	12—16	2,57	2,67	2,43	2,58	80,19	17,20	4,02	62,69	97,69	3,46	5,40	[0,64]
47	-	20	18,10	bis 39	3,65	4,27	3,80	1,57	79,73	18,67	2,43	59,72	92,44	3,30	5,10	[0,64]
48	-	21	18,00	10—18	2,22	2,45	2,18	2,56	79,94	17,47	3,69	54,50	80,39	3,03	4,47	0,69
49	23. XII.	14	18,30	9—12	2,67	2,33	2,09	3,25	80,23	16,49	4,75	67,84	99,16	3,71	5,42	0,68
50	-	15	18,30	9—12	2,25	2,28	2,04	3,02	80,35	16,60	4,67	61,67	95,36	3,36	5,21	[0,66]
51	-	19	18,15	11	1,94	1,91	1,71	3,45	80,83	15,69	5,70	64,61	97,36	3,53	5,57	[0,66]

Seit 24. XII. Fütterung von 300 g Fleisch, 100 g Reis, 30 g Fett und 3 g Fleischasche

52	3. I. 1911	17	18,90	9—11	2,87	2,18	2,11	3,53	80,47	15,97	5,33	68,96	82,71	3,73	4,38	[0,66]
53	-	18	18,90	10—12	2,64	2,36	2,11	3,22	80,03	16,72	4,46	68,42	94,18	3,62	4,98	0,72
54	-	21	18,60	8—12	1,91	1,78	1,60	3,86	80,27	15,84	5,41	61,64	86,39	3,31	4,54	0,71

Nr.	Tag des Versuchs	Zeit nach Fütterung Stunden	Gewicht kg	Atemfrequenz	Atemgröße Liter vor Beginn unred.	Atemgröße Liter während des Versuchs unred.	Atemgröße Liter während des Versuchs red. auf 760 mm 0° C	Zusammensetzung der ausgeatmeten Luft in % prod. CO_2	Zusammensetzung der ausgeatmeten Luft in % N_2	Zusammensetzung der ausgeatmeten Luft in % O_2	O_2 Def.	Gaswechsel pro Minute ccm des ganzen Tieres CO_2	Gaswechsel pro Minute ccm des ganzen Tieres O_2	Gaswechsel pro Minute ccm pro kg CO_2	Gaswechsel pro Minute ccm pro kg O_2	R.-Q.
55	3. I. 1911	22	18,60	7—10	1,81	1,77	1,58	3,66	80,41	15,90	5,39	58,02	85,44	3,12	4,49	0,68
56	4. I.	15	18,95	10—15	2,38	2,04	1,83	3,20	80,05	16,72	4,46	58,55	81,61	3,09	4,31	0,72
57	-	$16\frac{1}{2}$	18,90	19—21	3,38	3,07	2,75	2,52	79,74	17,71	3,40	69,38	93,61	3,66	4,94	0,74
58	-	18	18,90	11—12	1,74	1,98	1,78	2,97	79,44	17,56	3,51	52,88	92,50	2,79	3,30	0,85
59	-	20	18,80	8—12	2,00	1,86	1,63	3,65	80,28	16,04	5,21	59,56	84,81	3,17	4,51	0,70
60	-	22	18,70	8—15	2,25	2,17	1,95	3,23	80,03	16,71	4,85	62,95	87,10	3,36	4,66	0,72
61	5. I.	15	19,15	9—11	2,24	1,82	1,67	3,64	80,00	16,33	4,85	58,87	79,10	3,07	4,13	0,74
62	-	16	19,15	11—14	2,28	2,14	1,91	3,67	80,35	15,95	5,32	70,29	101,99	3,67	5,32	0,69
63	-	20	18,82	10—15	2,46	2,22	1,99	3,02	80,02	16,93	4,25	60,01	84,45	3,19	4,49	0,71
64	-	21	18,82	10—12	2,22	2,13	1,90	3,04	80,20	16,73	4,50	57,92	85,74	3,08	4,55	0,68
	Seit 7. I. Fütterung von 300 g Fleisch, 100 g Reis, 30 g Fett ohne Salze															
65	9. I. 1911	14	19,0	18—31	2,55	3,45	3,09	1,84	79,77	18,36	2,75	56,82	84,92	2,99	4,57	0,67
66	-	18	18,95	10—13	2,17	2,17	1,95	3,06	80,09	16,82	4,38	59,57	85,27	3,14	4,50	0,70
67	-	19	18,95	10—11	2,24	2,02	1,81	3,31	80,13	16,52	4,68	59,93	84,54	3,16	4,46	0,71
68	11. I.	$13\frac{1}{2}$	19,1	16—20	2,88	3,09	2,76	2,42	79,73	17,82	3,28	66,84	90,59	3,50	4,74	0,74
69	-	$14\frac{1}{2}$	19,1	16—20	3,71	2,85	2,55	2,62	79,77	17,58	3,53	66,82	90,03	3,50	4,71	0,74
70	-	$19\frac{1}{2}$	18,9	9—10	2,10	2,39	2,14	3,07	80,19	16,71	4,51	65,62	96,40	3,47	5,10	0,68
71	-	21	18,9	12—20	3,01	2,87	2,53	2,35	80,24	17,38	3,86	59,53	97,78	3,11	5,12	[0,61]
	Seit 11. I. Fütterung von 300 g Fleisch, 100 g Reis, 30 g Fett, 4 g $CaCl_2$															
72	13. I. 1911	12	19,6	12—13	2,28	2,36	2,11	3,18	79,92	16,87	4,28	67,02	90,20	3,419	4,602	0,74
73	-	14	19,6	9—12	2,63	2,48	2,215	2,96	79,94	17,07	4,09	65,57	90,60	3,345	4,622	0,72
74	-	15	19,1	10—13	2,96	2,13	1,91	3,04	80,21	16,72	4,51	59,97	86,01	3,035	4,503	[0,67]
75	-	18	19,0	12—13	2,26	2,15	1,95	3,08	80,33	16,56	4,70	59,26	90,43	3,119	4,759	[0,66]
76	-	19	19,0	10—18	2,40	2,18	1,95	2,81	80,29	16,87	4,38	54,86	85,50	2,887	4,500	[0,64]
77	14. I.	18	19,0	10	2,09	2,10	1,88	3,41	80,22	16,34	4,89	63,99	91,77	3,368	4,830	0,70
78	-	19	19,0	7—18	1,89	2,38	2,13	3,32	80,09	16,56	4,68	70,65	99,60	3,719	5,242	0,71
79	16. I.	$12\frac{1}{2}$	19,65	15—18	2,87	2,81	2,51	2,57	80,13	17,27	3,94	64,54	98,95	3,397	5,18	[0,65]
80	-	$14\frac{1}{2}$	19,60	13—15	2,64	2,38	2,13	2,82	80,27	16,88	4,37	60,08	93,10	3,057	4,74	[0,65]
81	-	17	19,95	9—12	2,04	2,00	1,78	3,20	80,29	16,48	4,77	57,22	85,29	3,019	4,501	[0,67]

Seit 17. I. besteht die Fütterung in 300 g Fleisch, 100 g Reis und 30 g Fett ohne Salze

82	21. I. 1911	16½	18,8	15—20	5,15	3,32	2,97	2,21	79,86	17,90	3,24	65,68	96,29	3,494	5,122	0,68
83	-	18½	18,8	11—12	2,27	2,08	1,86	3,31	80,65	16,01	5,34	62,29	99,59	3,313	5,297	[0,63]

Seit 21. I. besteht die Fütterung in 300 g Fleisch, 100 g Reis, 30 g Fett und 4 g $MgCl_2$

84	22. I. 1911	14½	19,45	10—11	2,11	2,18	1,95	3,30	80,36	16,31	4,96	64,39	96,78	3,311	4,976	[0,665]
85	-	16	19,40	40—60	3,67	3,80	3,42	2,06	79,80	18,11	3,01	70,38	102,84	3,628	5,301	0,68
86	-	19	19,05	12—13	2,34	2,06	1,85	3,48	80,20	16,29	4,94	53,21	91,47	2,793	4,802	0,70
87	23. I.	12	19,35	27	5,86	4,74	4,25	1,43	79,68	18,86	2,23	61,23	94,82	3,164	4,90	[0,64]
88	-	13	19,30	15—18	2,67	2,47	2,22	2,75	80,28	16,94	4,31	60,99	95,60	3,160	4,953	[0,64]
89	-	14	19,20	11—13	2,46	2,12	1,89	3,20	80,51	16,26	5,04	60,52	95,33	3,080	4,96	[0,64]
90	-	17	19,15	20—28	3,03	3,80	3,41	1,88	80,04	18,05	3,14	64,07	107,01	3,345	5,588	[0,61]
91	-	18	19,15	20—30	3,22	3,95	3,54	2,17	79,71	18,09	3,01	76,91	106,68	4,016	5,571	0,72
92	25. I.	17½	19,50	10—15	2,12	2,22	1,99	3,19	79,44	17,34	3,69	63,44	73,38	3,269	3,763	[0,86]
93	-	20	19,45	10—16	2,63	2,53	2,27	2,92	80,13	16,92	4,29	66,51	97,38	3,419	5,007	0,68
94	-	21	19,40	15—17	2,28	2,30	2,06	2,82	80,23	16,92	4,32	57,78	89,15	2,978	4,595	[0,65]
95	-	22	19,40	14—16	2,33	2,60	2,34	3,04	80,10	16,83	4,37	71,05	102,14	3,662	5,265	0,70
96	-	23	19,40	14—19	2,64	2,69	2,41	2,77	80,14	17,06	4,15	66,77	100,03	3,442	5,156	0,68
97	30. I.	18	19,40	9—14	2,61	2,26	2,03	2,41	80,00	17,56	3,52	48,81	71,21	2,516	3,671	0,69
98	-	19	19,30	13—15	2,49	2,68	2,40	2,71	79,96	17,30	3,87	65,07	92,87	3,370	4,812	0,70
99	-	22½	19,20	12—16	2,78	3,01	2,69	2,56	79,92	17,49	3,66	68,92	98,48	3,589	5,129	0,70
100	-	23½	19,18	12	3,18	2,64	2,37	2,91	79,88	17,18	3,98	68,85	94,29	3,590	4,916	0,73

Seit 30. I. besteht die Fütterung aus 300 g Fleisch, 100 g Reis, 15 g Fett ohne Salze

101	1. II. 1911	18½	19,3	21—26	3,00	3,49	3,13	2,38	79,83	17,76	3,37	74,44	105,44	3,857	5,463	0,71
102	-	19½	19,3	sehr beschl.	5,16	5,34	4,78	1,54	79,50	18,93	2,11	73,62	100,94	3,815	5,230	0,73

Nr.	Tag des Versuchs	Zeit nach Fütterung Stunden	Gewicht kg	Atemfrequenz	Atemgröße Liter vor Beginn unred.	während des Versuchs unred.	während des Versuchs red. auf 760 mm 0° C	Zusammensetzung der ausgeatmeten Luft in % prod. CO_2	N_2	O_2	O_2 Def.	Gaswechsel pro Minute ccm des ganzen Tieres CO_2	des ganzen Tieres O_2	pro kg CO_2	pro kg O_2	R.-Q.
103	1. II. 1911	22	19,1	10—13	2,35	2,67	2,39	2,98	80,04	16,95	4,24	71,37	101,46	3,737	5,312	0,70
104	-	23	19,1	24—30	3,36	5,14	4,61	1,82	79,57	18,58	2,48	85,32	114,43	4,467	5,993	0,74
105	24. II.	13¼	19,60	15—16	3,12	2,65	2,41	2,96	79,87	17,14	4,00	71,21	105,95	3,633	5,406	0,74
106	-	14	19,60	13—17	3,09	2,79	2,50	3,18	79,67	17,12	3,97	79,55	110,92	4,059	5,659	0,80
107	-	15	19,50	12—15	2,93	2,29	2,05	3,33	79,82	16,82	4,31	68,02	88,04	3,488	4,515	0,77
108	-	16¼	19,40	10—14	2,38	2,53	2,26	3,23	79,72	17,02	4,08	73,08	103,09	3,787	5,314	0,79
109	-	17	19,40	11—14	2,25	2,17	1,94	3,14	79,76	17,07	4,04	60,92	78,39	3,140	4,041	0,78
110	-	17¾	19,20	9—14	2,35	2,56	2,29	3,10	79,60	17,27	3,80	71,07	87,11	3,701	4,537	0,82
111	25. II.	15	19,75	11—14	2,46	2,29	2,05	3,28	79,66	17,03	4,06	67,10	83,06	3,397	4,205	0,81
112	-	15½	19,75	9—14	1,87	2,28	2,04	3,27	79,58	17,12	3,95	66,51	80,58	3,367	4,080	0,83
113	-	17½	19,65	13—16	2,29	2,38	2,13	3,04	79,80	17,13	3,99	64,69	84,91	3,292	4,320	0,76
114*)	27. II. 1911	15	19,5	12—13	2,16	2,11	1,89	3,25	80,09	16,71	4,47	61,01	84,42	3,129	4,329	0,72
115	-	16	19,30	10—12	2,46	2,36	2,12	3,45	79,82	16 70	4,12	72,98	93,47	3,781	4,843	0,78
116	-	16¾	19,30	9—11	2,68	2,40	2,15	2,96	79,77	17,24	3,87	63,57	83,21	3,293	4,312	0,76
117	-	20	19,25	11—12	2,05	2,23	1,99	3,00	79,80	17,17	3,95	59,56	78,60	3,099	4,083	0,76
118	-	21	19,25	7—12	2,46	2,17	1,94	3,23	80,03	16,71	4,47	62,75	86,92	3,260	4,515	0,72
119	28. II.	14	19,60	12—15	2,68	2,57	2,29	3,10	79,75	17,12	3,99	71,13	91,54	3,627	4,670	0,78
120	-	14½	19,60	11—14	2,95	2,52	2,25	3,15	79,74	17,08	4,03	71,71	90,80	3,659	4,633	0,79
121	-	15	19,60	12—14	2,64	2,19	1,95	3,23	79,77	16,97	4,15	63,74	81,04	3,252	4,134	0,79
	Seit 1. III. besteht die Fütterung in 300 g Fleisch, 100 g Reis, 15 g Fett und 3 g Fleischasche															
122	3. III. 1911	12½	19,75	14—18	2,58	2,38	2,12	3,29	79,72	16,96	4,14	69,76	87,78	3,532	4,445	0,78
123	-	13¼	19,75	14—16	2,49	2,16	1,93	3,27	79,59	17,11	3,96	62,95	76,24	3,187	3,860	0,83
124	-	15½	19,60	7—12	2,74	2,67	2,38	3,11	79,95	16,91	4,25	74,09	101,32	3,780	5,167	0,73
125	-	16¾	19,60	9—15	2,49	2,26	2,02	3,02	79,77	17,18	3,94	61,00	79,48	3,112	4,055	0,77
126	-	17½	19,50	10—13	2,56	2,19	1,95	2,94	79,76	17,27	3,84	57,45	75,07	2,946	3,850	0,76

Seit 5. III. besteht die Fütterung in 300 g Fleisch, 100 g Reis, 15 g Fett und 4 g $CaCl_2$

127	7. III. 1911	11¾	20,30	10—16	3,33	2,50	2,23	3,25	79,43	17,29	3,73	72,60	83,32	3,576	4,104	0,87
128	-	18½	19,70	11	3,15	3,34	2,98	3,90	79,33	17,74	3,25	86,53	97,28	4,392	4,938	[0,89]
129	-	19½	19,55	14—18	2,99	3,19	2,86	2,90	79,55	17,52	3,54	82,92	101,14	4,242	5,173	0,82
130	9. III.	12½	19,75	9—10	3,26	2,40	2,15	3,20	79,89	16,88	4,30	68,74	92,44	3,481	4,680	0,74
131	-	18	19,60	10	2,48	2,27	2,03	3,22	80,07	16,68	4,51	65,29	91,53	3,331	4,670	0,71
132	-	19	19,50	10—14	2,26	2,18	1,95	3,30	80,01	16,66	4,52	62,83	88,04	3,222	4,515	0,71
133	-	21	19,50	9—10	2,49	2,01	1,81	3,42	80,09	16,46	4,66	61,84	84,24	3,171	4,320	0,73
134	10. III.	12¾	19,60	14—18	3,17	2,61	2,32	2,97	79,71	17,29	3,81	68,91	88,20	3,516	4,510	0,78
135	-	13½	19,60	12—18	2,85	2,83	2,53	2,09	79,48	18,40	2,64	52,87	66,79	2,698	3,408	0,79
136	-	19½	19,60	21	3,09	2,94	2,62	2,93	79,11	17,93	3,01	76,92	79,08	3,923	4,031	0,97

Seit 20. III. besteht die Fütterung in 300 g Fleisch, 100 g Reis, 15 g Fett und 4 g $MgCl_2$

137	22. III. 1911	12¾	20,40	10—22	3,13	3,14	2,83	2,71	79,89	17,37	3,78	76,70	106,98	3,760	5,244	0,72
138	-	13½	19,95	16—22	3,86	2,83	2,55	2,91	79,72	17,34	3,76	74,18	95,86	3,719	4,804	0,77
139	-	1	21,30	15—16	2,90	2,91	2,62	3,49	79,61	16,87	4,20	91,38	109,97	4,290	5,163	0,83
140	-	2	21,10	20—22	3,70	3,69	3,32	3,33	79,53	17,11	3,94	111,64	130,91	5,290	6,20	0,85
141	-	3	21,00	18—20	3,64	3,34	3,01	3,45	79,76	16,76	4,35	103,96	131,08	4,950	6,242	0,79
142	23. III.	13	20,30	12—20	2,60	2,49	2,31	2,95	79,66	17,36	3,73	68,13	86,14	3,356	4,243	0,79
143	-	13½	19,95	10—14	2,54	2,20	2,00	3,12	79,96	16,89	4,28	62,88	85,42	3,152	4,282	0,74
144	-	14½	19,95	10—13	2,47	2,19	1,99	3,02	80,03	16,92	4,26	60,21	84,94	3,02	4,257	0,71
145	-	15¼	19,95	12—13	2,82	2,91	2,65	3,14	79,95	16,88	4,28	83,16	113,35	4,168	5,682	0,73
146	-	16	19,85	7—12	2,59	2,58	2,34	3,11	79,88	16,98	4,17	72,92	97,76	3,673	4,925	0,75
147	-	17	19,80	9—14	3,29	2,85	2,59	3,07	79,71	17,19	3,91	79,46	101,20	4,004	5,101	0,78

Seit 24. III. besteht die Fütterung in 300 g Fleisch, 100 g Reis, 15 g Fett und 4 g $CaCl_2$

148	27. III. 1911	13	20,0	12—18	3,32	2,68	2,46	3,43	79,84	16,70	4,43	84,40	109,00	4,220	5,450	0,77
149	-	14	19,95	12—18	2,48	2,61	2,39	3,21	79,70	17,06	4,04	76,72	96,55	3,845	4,840	0,79
150	-	15½	19,95	10—16	2,56	2,27	2,08	3,14	79,85	16,98	4,16	65,39	86,63	3,278	4,343	0,75
151	-	16½	19,94	8—12	2,53	2,00	1,83	3,19	79,94	16,84	4,32	58,29	78,94	2,923	3,959	0,74
152	28. III.	12	20,15	14—16	2,56	2,63	2,41	3,55	79,91	16,51	4,64	85,71	112,03	4,254	5,560	0,77
153	-	13¼	20,10	12—13	1,95	1,99	2,81	3,61	80,15	16,21	5,00	65,49	90,70	3,258	4,513	0,72
154	-	16	20,05	13—14	2,60	2,27	2,06	3,17	79,97	16,83	4,34	65,31	89,42	3,258	4,460	0,73
155	-	16½	20,05	10—16	2,42	2,66	2,41	3,26	79,52	17,19	3,86	78,56	93,01	3,918	4,639	[0,84]

*) Seit 25. II. Zugabe von 4 gr KCl täglich.

die Gasspannung in den Alveolen vermindert wurde, woraus sich erklärt, daß mehr Kohlensäure abgegeben wurde als durch Oxydation in der gleichen Zeit entstand. Auch bei Versuch 128 trifft dies zu, wo der Durchschnitt der eigentlichen Versuchsperiode 2,50 Liter ergibt, während die beiden letzten in Betracht kommenden Versuchsminuten 3,45 Liter als Minutenwert ergeben. Derartig nicht ganz einwandfreie Quotienten sind in der Tabelle durch Klammern kenntlich gemacht. — Zur Kontrolle der in den Versuchen gefundenen respiratorischen Quotienten wollen wir jetzt berechnen, wie sich derselbe theoretisch unter der Annahme, daß die Gesamtnahrung vom Tier wirklich umgesetzt wurde, stellt. Wir können rechnen, daß die 300 g Fleisch etwa 10 g Stickstoff enthalten, und daß dieser Stickstoff nach den Ausführungen von Zuntz und Mitarbeitern in „Höhenklima und Bergwanderung“ [25]) einem Verbrauch von 59,1 Liter Sauerstoff einer Produktion von 47,5 Litern Kohlensäure und einer Wärmemenge von 265 Kalorien entspricht. Das eine Gramm Stickstoff in den 100 g Reis würde 5,9 Liter Sauerstoff verbrauchen, 4,75 Liter Kohlensäure produzieren und 26,5 Kalorien Wärme entwickeln. Bei einem Gehalt von 78 g Stärke in den 100 g Reis würden 64,6 Liter Sauerstoff verbraucht und 64,6 Liter Kohlensäure entstehen unter einer Wärmeentwicklung von 319 Kalorien. Die gegebenen 15 g Fett würden entsprechen einem Verbrauch von 30,3 Liter Sauerstoff, einer Produktion von 21,4 Litern Kohlensäure und einer Wärmeentwicklung von 142 Kalorien. Die Nahrung entspricht also im ganzen 160 Litern Sauerstoff, 138,3 Litern Kohlensäure, also einem respiratorischen Quotienten von 0,86 und einer Wärmeproduktion von 753 Kalorien, das sind bei 20 kg 37,6 Kalorien pro Kilogramm. Wenn das Tier auch noch die in den ersten Versuchsperioden mehr verfütterten 15 g Fett verbraucht hätte, was nach der Gewichtstabelle faktisch nicht ganz der Fall war, dann würde der Sauerstoffverbrauch auf 199 Liter, die Kohlensäureproduktion auf 160 Liter steigen und der respiratorische Quotient 0,80 betragen. Derartig hohe Quotienten haben wir aber nur in wenigen, während der ersten 12 Stunden nach der Fütterung ausgeführten Versuchen gefunden. In Versuch 139 bis 141 stieg der Quotient bis 0,85. Die wahrscheinlichste Erklärung hierfür dürfte die sein, daß der Hund in den Perioden körperlicher Bewegung relativ mehr Kohlehydrate verbrauchte als in den Ruheperioden. Wir wissen zwar aus zahlreichen im hiesigen Laboratorium ausgeführten Versuchen, daß häufig bei Arbeit der respiratorische Quotient derselbe ist wie in der Ruhe. Das

[25]) Zuntz und Mitarbeiter, Höhenklima und Bergwanderung S. 103.

tritt namentlich in den Versuchen von Zuntz und Hagemann[29]) am Pferd sehr deutlich hervor und deckt sich im allgemeinen auch mit den Versuchen, die am Menschen angestellt worden sind. Anderseits wissen wir aber, daß kein Moment geeigneter ist, den Glykogengehalt des Körpers schnell zum Verschwinden zu bringen als die Muskelarbeit. Namentlich anstrengende Muskeltätigkeit führt zum schnellen Schwund des Körperglykogens. Dementsprechend finden wir in vielen der älteren Versuche, daß der respiratorische Quotient bei Arbeit höher ist als in der Ruhe. Das tritt z. B. sehr deutlich hervor in den Versuchen von Zuntz am arbeitenden Hunde[30]). Hier betrug der respiratorische Quotient im Mittel bei Ruhe 0,71, beim freien Gang auf horizontaler Bahn 0,73, bei Gang bergauf 0,77, bei Zugarbeit 0,77. Es zeigt sich ferner in den Versuchen von Lehmann und Zuntz an hungernden Menschen[31]). Ähnliches zeigen die im hiesigen Laboratorium ausgeführten Versuche von Slowtzow[32]), über die ich in folgendem eine Zusammenstellung gebe.

Gewicht	R.-Q. bei Ruhe	bei schwacher Arbeit	bei starker Arbeit
5,04	0,75	0,71	0,80
7,45	0.71	0,69	0,72
9,9	0,68	0,71	0,70
14,6	0,67	0,74	0,73
20,9	0,71	0,76	0,77
28,3	0,70	0,73	0,80
36,9	0,73	0,80	0,70
	0,707	0,734	0,743

Slowtzow fütterte seine Hunde, ähnlich wie ich, mit Fleisch und Reis, er verwandte auf 3 Gewichtsteile Fleisch 4 Gewichtsteile Reis. Die Versuche wurden an den nüchternen Tieren ungefähr 18 Stunden nach der Mahlzeit ausgeführt.

Für meine Versuche läßt sich die Größe der vom Tier in Form von spielenden Bewegungen ausgeführten Muskelarbeit aus dem Vergleich des Verbrauchs von Sauerstoff im Ruhezustand mit dem

---

[29]) Zuntz, Lehmann und Hagemann, Untersuchungen über den respiratorischen Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit S. 129.

[30]) Zuntz, Pflügers Archiv Bd. 68 S. 191.

[31]) Lehmann und Zuntz, Virchows Archiv Bd. 149, Supplement.

[32]) Slowtzow, Pflügers Archiv Bd. 95 S. 158.

Stunden nach Fütterung	R.-Q. bei salzfreier Fütterung			R.-Q. bei Fütterung von Fleischasche			R.-Q. bei Fütterung von NaCl			R.-Q. bei Fütterung von KCl			R.-Q. bei Fütterung von $MgCl_2$			R.-Q. bei Fütterung von $CaCl_2$		
	R.-Q.	Tage	O_2 p. kg	R.-Q.	Tage	O_2 p. kg	R.-Q.	Tage	O_2 p. kg	R.-Q.	Tage	O_2 p. kg	R.-Q.	Tage	O_2 p. kg	R.-Q.	Tage	O_2 p. kg
12—14	0,67	[2]	4,57	0,69	[6]	5,09	0,77	[3]	6,248	0,76	[1]	4,82	0,64	[2]	4,90	0,74	[2]	4,602
	0,74	[4]	4,74	0,68	[6]	5,27	0,78	[3]	4,650	0,67	[1]	5,113	0,64	[2]	4,953	0,72	[2]	4,622
	0,74	[25]	5,41	0,79	[3]	4,445	0,82	[6]	5,140	0,60	[3]	5,00	0,64	[2]	4,965	0,65	[5]	5,18
	0,80	[25]	5,66	0,83	[3]	3,860	0,65	[21]	5,210	0,60	[3]	5,20	0,72	[2]	5,244	0,87	[2]	4,104
	—	—	—	—	—	—	0,70	[21]	5,110	0,73	[6]	5,11	0,77	[2]	4,804	0,74	[4]	4,680
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,69	[6]	5,06	0,79	[3]	4,243	0,78	[5]	4,510
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,68	[9]	5,42	0,74	[3]	4,282	0,79	[5]	3,408
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,78	[3]	4,67	—	—	—	0,77	[3]	5,450
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,79	[3]	4,840
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,77	[4]	5,560
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,72	[4]	4,513
	0,74	—	5,10	0,75	—	4,67	0,74	—	5,27	0,69	—	5,06	0,71	—	4,77	0,76	—	4,68
14—17	0,68	[32]	4,43	0,60	[6]	4,92	0,79	[3]	4,40	0,68	[3]	4,88	0,66	[1]	4,976	0,67	[2]	4,503
	0,74	[4]	4,71	0,68	[6]	5,01	0,80	[6]	4,940	0,66	[9]	5,21	0,68	[1]	5,301	0,65	[5]	4,740
	0,68	[4]	5,122	0,66	[10]	4,38	0,75	[6]	4,80	0,72	[2]	4,329	0,61	[2]	5,588	0,67	[5]	4,501
	0,77	[25]	4,515	0,72	[11]	4,31	0,67	[9]	5,01	0,78	[2]	4,843	0,71	[3]	4,257	0,75	[3]	4,343
	0,79	[25]	5,314	0,74	[11]	4,94	—	—	—	0,76	[2]	4,312	0,73	[3]	5,682	0,74	[3]	3,959
	0,78	[25]	4,041	0,74	[12]	4,13	—	—	—	0,79	[3]	4,633	0,75	[3]	4,925	0,73	[4]	4,460
	0,81	[26]	4,205	0,69	[12]	5,32	—	—	—	0,79	[3]	4,134	0,79	[3]	5,101	0,84	[4]	4,639
	0,83	[26]	4,080	0,73	[3]	5,169	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	0,77	[3]	4,055	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,76	—	4,55	0,70	—	4,69	0,75	—	4,79	0,74	—	4,62	0,71	—	5,12	0,72	—	4,45

mehr als 17	0,70	[25]	4,48	0,68	[6]	5,80	0,73	[3]	4,73	0,66	[1]	4,92	0,70	[1]	4,802	0,66	[2]	4,759
	0,72	[25]	5,24	0,68	[6]	4,76	0,74	[3]	4,91	0,68	[1]	5,11	0,72	[2]	5,571	0,64	[2]	4,500
	0,72	[26]	4,87	0,72	[10]	4,98	0,75	[6]	4,57	0,61	[3]	4,66	0,68	[4]	5,007	0,70	[3]	4,830
	0,69	[27]	4,97	0,71	[10]	4,54	0,74	[6]	4,55	0,65	[6]	4,99	0,65	[4]	4,595	0,71	[3]	5,242
	0,68	[29]	4,63	0,68	[10]	4,49	0,74	[9]	5,11	0,64	[6]	5,40	0,70	[4]	5,265	0,89	[2]	4,938
	0,77	[29]	4,21	0,85	[11]	3,298	0,69	[21]	5,12	0,64	[6]	5,10	0,68	[4]	5,156	0,82	[2]	5,173
	0,70	[2]	4,50	0,70	[11]	4,51	—	—	—	0,69	[6]	4,47	0,69	[9]	3,671	0,71	[4]	4,670
	0,71	[2]	4,46	0,72	[11]	4,66	—	—	—	0,66	[9]	5,57	0,70	[9]	4,812	0,71	[4]	4,515
	0,68	[4]	5,10	0,71	[14]	4,49	—	—	—	0,67	[2]	4,083	0,70	[9]	5,129	0,73	[4]	4,320
	0,61	[4]	5,12	0,71	[14]	4,55	—	—	—	0,72	[2]	4,515	0,73	[9]	4,916	—	—	—
	0,63	[4]	5,297	0,76	[3]	3,85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,71	[4]	5,463	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,73	[2]	5,230	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,70	[2]	5,312	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,74	[2]	5,993	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,82	[25]	4,537	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,76	[26]	4,320	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,71	—	4,92	0,72	—	4,54	0,73	—	4,83	0,67	—	4,88	0,69	—	4,89	0,74	—	4,77

Stunden nach Fütterung	R.-Q. bei salzfreier Fütterung	R.-Q. bei Fleischasche	R.-Q. bei NaCl	R.-Q. bei KCl	R.-Q. bei $MgCl_2$	R.-Q. bei $CaCl_2$
12—14	0,76	0,75	0,77	0,73	0,75	0,76
14—17	0,76	0,72	0,78	0,75	0,73	0,76
nach 17 Std.	0,72	0,72	0,73	0,70	0,70	0,75

24 stündigen Ruheverbrauch, wie er sich aus der Nahrungsaufnahme berechnet, ableiten. Wir hatten oben gesehen, daß die Nahrungsaufnahme etwa 160—199 Litern Sauerstoff pro Tag entsprach. Hiervon würde der Wert der Verdauungsarbeit abzuziehen sein,, die wir gestützt auf die Versuche von Magnus-Levy und die Ausführungen in dem oben schon zitierten Werke über „Höhenklima und Bergwanderung" zu 16 % des Energiewertes des Eiweißes, 9% des Energiewertes der Kohlehydrate und 2 ½ % des Energiewertes der Fette ansetzen können. Wir kommen so zu folgenden ungefähren Werten für die Verdauungsarbeit unseres Hundes. Für 291 Kalorien aus Eiweiß 291.0,16 gleich 46,6 Kalorien, für 320 Kalorien aus Kohlehydraten 320.0,09 gleich 28,8 Kalorien, endlich für die 142 Kalorien aus Fett 142.0,025 gleich 3,5 Kalorien. Im ganzen also 79 Kalorien für die Verdauungsarbeit. Da der Tagesabgabe von 753 Kalorien ein Sauerstoffverbrauch von 160 Litern entspricht, entfallen auf die 79 Kalorien Verdauungsarbeit 16,8 Liter Sauerstoff, so daß der Verbrauch des nüchternen Tieres rund 143 Liter Sauerstoff beträgt, das macht pro Minute 99,3 ccm. Da der in absoluter Ruhe 17 Stunden nach der Mahlzeit und später gefundene Verbrauch im Mittel 91 ccm beträgt, muß das Mehr von etwa 8 ccm Sauerstoff auf die Muskelarbeit bezogen werden und bei dieser Muskelarbeit muß der Verbrauch an Kohlehydraten, also auch der respiratorische Quotient erheblich höher gewesen sein, als wir in den Ruheversuchen fanden.

Die bisherigen Erwägungen geben uns nun die Unterlage, an die Erörterung der ursprünglichen Frage nach dem Einfluß der mineralischen Stoffe auf die relative Beanspruchung von Fett und Kohlehydraten für die Energieleistung heranzugehen. Wir ordnen zur Diskussion dieser Frage die sämtlichen Versuche nach der Ernährung, indem wir in der vorstehenden Tabelle nur den Sauerstoffverbrauch pro Minute und die respiratorischen Quotienten geben. In diese Tabelle sind auch die Sauerstoffwerte aus den in bezug auf den respiratorischen Quotienten beanstandeten Versuche mit aufgenommen worden, da ja die Atemmechanik, wie oben erörtert wurde, auf den Sauerstoffverbrauch keinen wesentlichen Einfluß hat. Dann sind aber noch in der zweiten Tabelle die Durchschnittswerte der respiratorischen Quotienten berechnet nach Ausscheidung der zweifelhaften. Die eingeklammerten Zahlen hinter den Quotienten geben an, wieviel Tage das betreffende Salz gegeben war. (Siehe vorstehende Tabellen.)

Man wird bei Überblick dieser Zahlen erkennen, daß zwar gewisse Schwankungen in den einzelnen Versuchsreihen bestehen, dieselben aber nicht groß genug sind, um angesichts der Differenzen, welche innerhalb der einzelnen Versuchsreihen von einem Versuch

zum andern bestehen, eine spezifische Wirkung eines oder des andern Metallions auf die Art der Verbrennungsprozesse im Tierkörper und auf die Größe derselben anzunehmen.

Die Anregung zu dieser Arbeit empfing ich von Herrn Geheimrat Professor Dr. Zuntz, der mir beim Anstellen der Versuche und bei ihrer Ausarbeitung vielfache Hilfen und Winke gab, wofür ihm hier zu danken, mir eine angenehme Pflicht ist. Gleichfalls möchte ich auch Herrn Professor Dr. Caspari und Herrn Dr. Klein für ihre Hilfe beim Erlernen der Technik und für ihren stets bereitwilligen Rat meinen Dank aussprechen.

Lebenslauf.

Am 25. November 1887 wurde ich, Waldemar Mäder, als Sohn des Landwirtes Berthold Mäder zu Schönstedt geboren. Nachdem ich viereinhalb Jahre die Elementarschule meines Heimatdorfes besucht hatte, kam ich einhalb Jahr auf die Mittelschule und dann drei Jahre auf das Realprogymnasium zu Langensalza. Von da ging ich Ostern 1901 auf das Gymnasium zu Mühlhausen in Thüringen, an dem ich Ostern 1908 das Reifezeugnis erhielt. Hierauf wandte ich mich nach München, wo ich an der tierärztlichen Hochschule 4 Semester Veterinärmedizin studierte und am Ende des vierten mich dem Tentamen physicum mit Erfolg unterzog. Hierauf setzte ich meine Studien an der tierärztlichen Hochschule in Berlin fort, wo ich mich 2 Semester aufhielt. Im 2. Semester, dem Wintersemester 1910/11, und besonders in den Herbst-, Weihnachts- und Osterferien beschäftigte ich mich mit den Versuchen zu vorliegender Arbeit und mit ihrer Ausarbeitung. Dann schloß ich meine Studien im folgenden Semester in Gießen ab. Hier unterzog ich mich der Fachprüfung, die ich im Februar 1912 beendete, um mich dann mit der praktischen Tierheilkunde zu beschäftigen.